



Klausur zur 2. Runde des Auswahlverfahrens zur 56. IChO 2024 in Saudi-Arabien

Name, Vorname: _____

Bundesland: _____

Beginne erst, wenn das Startsignal gegeben wird.

Zeit	180 min
Name	Schreibe deinen Namen auf dieses Deckblatt und auf jede Seite der Klausur
Bundesland	Schreibe dein Bundesland auf dieses Deckblatt und auf jede Seite der Klausur
Atommassen	Benutze nur das vorgegebene Periodensystem
Konstanten	Benutze nur die Werte aus der Formelsammlung
Berechnungen	Schreibe diese in die zugehörigen Kästen, ohne Rechnungen gibt es keine Punkte
Ergebnisse	Schreibe nur in die zugehörigen Kästen in der Klausur, nichts Anderes wird gewertet
Ersatzantwortbögen	Nutze ein leeres Blatt und schreibe Namen, Vornamen, Bundesland und Aufgabennummer darauf
Schmierpapier	Benutze die freien Rückseiten, das dort Geschriebene wird nicht bewertet

Viel Erfolg!

Formelsammlung & PSE

Stöchiometrie und Analytik	
Stoffmenge	$n = \frac{m}{M} = \frac{V}{V_m} = \frac{N}{N_A}$
Konzentration	$c = \frac{n}{V}; \quad \beta = \frac{m}{V}$
LAMBERT-BEER'sches Gesetz	
	$A = -\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) = \varepsilon \cdot c \cdot d$
Licht / Photonen	$v = \frac{E}{h} = \frac{c}{\lambda}$
Massenanteil A in A_aB_b	$\omega_A = \frac{a \cdot M_A}{M_{A_aB_b}}$
Gase	
Ideales Gas	$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$
Dalton-Gesetz	$p_{ges} = p_A + p_B + \dots$
Thermodynamik	
Innere Energie	$\Delta U = C_V \cdot \Delta T$
Enthalpie	$H = U + pV$ $\Delta H = C_p \cdot \Delta T$
Reaktionsenthalpie	$\Delta_r H^\circ = \sum \Delta H_{f, \text{Produkte}} - \sum \Delta H_{f, \text{Edukte}}$
Reaktionsentropie	$\Delta_r S^\circ = \sum S^\circ_{\text{Produkte}} - \sum S^\circ_{\text{Edukte}}$
Freie Enthalpie	$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \cdot \Delta S^\circ$
Gibbs'sche Phasenregel	$f = K - P + 2$
Gleichgewichte	
Massenwirkungsgesetz	$K = \frac{a_C^c \cdot a_D^d}{a_A^a \cdot a_B^b}$
$a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$	
Vereinfachungen für die Aktivität a_X :	
- Feststoffe und Flüssigkeiten: $a_X = 1$	
- Verdünnte Lösungen: $a_X \approx \frac{c_X}{c_0}; c_0 = 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	
- Gase: $a_X \approx \frac{p_X}{p_0}; p_0 = 1 \text{ bar}$	
Löslichkeitsprodukt	$K_L = c_{A^{x+}}^a \cdot c_{B^{y-}}^b$
$A_a B_b \rightleftharpoons a A^{x+} + b B^{y-}$	
Freie Enthalpie	$\Delta G^\circ = -R \cdot T \cdot \ln(K)$
Säure-Base-Gleichgewichte	
pH/pOH-Wert	$pH = -\log_{10}(c_{H^+})$ $pOH = -\log_{10}(c_{OH^-})$
Säurestärke	
$HA + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^+$	
	$K_S = \frac{c_{A^-} \cdot c_{H^+}}{c_{HA}}$ $pK_S = -\log_{10}(K_S)$
Basenstärke	
$B + H_2O \rightleftharpoons BH^+ + OH^-$	
	$K_B = \frac{c_{BH^+} \cdot c_{OH^-}}{c_B}$ $pK_B = -\log_{10}(K_B)$
Ionenprodukt	$c_{H^+} \cdot c_{OH^-} = K_W = 10^{-14}$ $pH + pOH = 14$ $K_S \cdot K_B = K_W$
pH-Näherungsformeln:	
- Starke Säuren / Basen	
	$pH \approx -\log_{10}(c_0)$ $pOH \approx -\log_{10}(c_0)$
- Schwache Säuren / Basen	
	$pH \approx \frac{1}{2} \cdot (pK_S - \log_{10}(c_0))$ $pOH \approx \frac{1}{2} \cdot (pK_B - \log_{10}(c_0))$
HENDERSSON-HASSELBALCH-Gleichung	
	$pH = pK_S + \log_{10}\left(\frac{c_{A^-}}{c_{HA}}\right)$
Elektrochemie	
Zellspannung	$\Delta E = E_{\text{Kathode}} - E_{\text{Anode}}$
Freie Enthalpie	$\Delta G^\circ = -\Delta E \cdot z \cdot F$
NERNST-Gleichung	
$Ox + z e^- \rightleftharpoons Red$	
	$E = E^\circ + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln\left(\frac{c_{Ox}}{c_{Red}}\right)$
FARADAY-Gesetz	$Q = I \cdot t = z \cdot F \cdot n$
Organische Chemie	
Doppelbindungsäquivalent	
$C_c N_n H_h O_o X_x$ ($X = \text{Halogen}$)	
	$DB\ddot{A} = \frac{2 \cdot c + n - h - x + 2}{2}$

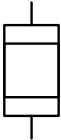
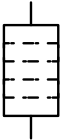
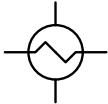
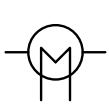
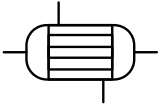
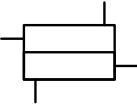
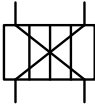
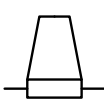
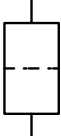
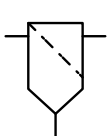
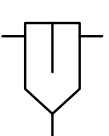
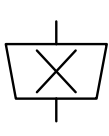
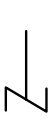
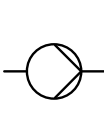
Mathematik	
Kugelvolumen / -oberfläche	$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$ $A = 4\pi \cdot r^2$
Quadratische Gleichung $a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$	$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$
Logarithmen	$\log_x(a \cdot b) = \log_x a + \log_x b$ $\log_x(a^n) = n \cdot \log_x a$

Einheiten	
Druck	1 atm = $1,013 \cdot 10^5$ Pa 1 bar = 10^5 Pa
Temperatur	$\vartheta/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$
Längen	1 Å = 10^{-10} m
Volumen	1 L = 10^{-3} m ³
Masse	1 u = $1,6605 \cdot 10^{-27}$ kg
Vorsätze	pico/p: 10^{-12} nano/n: 10^{-9} mikro/μ: 10^{-6} milli/m: 10^{-3}

Kinetik	
Geschwindigkeit	$r = \frac{1}{v_i} \frac{dc_i}{dt}$
Geschwindigkeitsgesetz	$r = k \cdot c_A^x \cdot c_B^y \cdot \dots$
Zeitgesetze:	
- 0. Ordnung	$c = c_0 - k \cdot t$
- 1. Ordnung	$c = c_0 \cdot e^{-k \cdot t}$
- 2. Ordnung	$c^{-1} = c_0^{-1} + k \cdot t$
ARRHENIUS-Gleichung	$k = A \cdot e^{-\frac{E_A}{R \cdot T}}$

Naturkonstanten	
Lichtgeschwindigkeit	$c = 3,00 \cdot 10^8$ m/s
Gaskonstante	$R = 8,314$ J/mol · K
AVOGADRO-Konstante	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ 1/mol
FARADAY-Konstante	$F = 96485$ C/mol
Elementarladung	$e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C
PLANCK'sches Wirkungsquantum	$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J · s

Ausgewählte verfahrenstechnische Apparate

Behälter					
					
Behälter (allgemein)	Behälter mit Einbauten	Behälter mit Festbett	Bodenkolonne (allgemein)	Glockenbodenkolonne	Siebbodenkolonne
Wärmetauscher					
					
Wärmetauscher (allgemein)	Rohrbündelwärmetauscher	Doppelrohrwärmetauscher	Plattenwärmetauscher	Kühlturm	
Mechanische Verfahrenstechnik / Fördertechnik					
					
Filter	Sieb	Abscheider	Zerkleinerer	Rührer	Pumpe

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 K	2 He	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	104 Rf
101 Db	102 Sg	103 Bh	104 Hs	105 Mt	106 Ds	107 Nh	108 Ta	109 W	110 Re	111 Os	112 Ir	113 Pt	114 Au	115 Hg	116 Tl	117 Pb	118 Bi
105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Nh	112 Ta	113 W	114 Re	115 Os	116 Ir	117 Pt	118 Au	119 Hg	120 Tl	121 Pb	122 Bi
109 Db	110 Sg	111 Bh	112 Hs	113 Mt	114 Ds	115 Nh	116 Ta	117 W	118 Re	119 Os	120 Ir	121 Pt	122 Au	123 Hg	124 Tl	125 Pb	126 Bi
113 Db	114 Sg	115 Bh	116 Hs	117 Mt	118 Ds	119 Nh	120 Ta	121 W	122 Re	123 Os	124 Ir	125 Pt	126 Au	127 Hg	128 Tl	129 Pb	130 Bi
117 Db	118 Sg	119 Bh	120 Hs	121 Mt	122 Ds	123 Nh	124 Ta	125 W	126 Re	127 Os	128 Ir	129 Pt	130 Au	131 Hg	132 Tl	133 Pb	134 Bi
121 Db	122 Sg	123 Bh	124 Hs	125 Mt	126 Ds	127 Nh	128 Ta	129 W	130 Re	131 Os	132 Ir	133 Pt	134 Au	135 Hg	136 Tl	137 Pb	138 Bi
125 Db	126 Sg	127 Bh	128 Hs	129 Mt	130 Ds	131 Nh	132 Ta	133 W	134 Re	135 Os	136 Ir	137 Pt	138 Au	139 Hg	140 Tl	141 Pb	142 Bi
129 Db	130 Sg	131 Bh	132 Hs	133 Mt	134 Ds	135 Nh	136 Ta	137 W	138 Re	139 Os	140 Ir	141 Pt	142 Au	143 Hg	144 Tl	145 Pb	146 Bi
133 Db	134 Sg	135 Bh	136 Hs	137 Mt	138 Ds	139 Nh	140 Ta	141 W	142 Re	143 Os	144 Ir	145 Pt	146 Au	147 Hg	148 Tl	149 Pb	150 Bi
137 Db	138 Sg	139 Bh	140 Hs	141 Mt	142 Ds	143 Nh	144 Ta	145 W	146 Re	147 Os	148 Ir	149 Pt	150 Au	151 Hg	152 Tl	153 Pb	154 Bi
141 Db	142 Sg	143 Bh	144 Hs	145 Mt	146 Ds	147 Nh	148 Ta	149 W	150 Re	151 Os	152 Ir	153 Pt	154 Au	155 Hg	156 Tl	157 Pb	158 Bi
145 Db	146 Sg	147 Bh	148 Hs	149 Mt	150 Ds	151 Nh	152 Ta	153 W	154 Re	155 Os	156 Ir	157 Pt	158 Au	159 Hg	160 Tl	161 Pb	162 Bi
149 Db	150 Sg	151 Bh	152 Hs	153 Mt	154 Ds	155 Nh	156 Ta	157 W	158 Re	159 Os	160 Ir	161 Pt	162 Au	163 Hg	164 Tl	165 Pb	166 Bi
153 Db	154 Sg	155 Bh	156 Hs	157 Mt	158 Ds	159 Nh	160 Ta	161 W	162 Re	163 Os	164 Ir	165 Pt	166 Au	167 Hg	168 Tl	169 Pb	170 Bi
157 Db	158 Sg	159 Bh	160 Hs	161 Mt	162 Ds	163 Nh	164 Ta	165 W	166 Re	167 Os	168 Ir	169 Pt	170 Au	171 Hg	172 Tl	173 Pb	174 Bi
161 Db	162 Sg	163 Bh	164 Hs	165 Mt	166 Ds	167 Nh	168 Ta	169 W	170 Re	171 Os	172 Ir	173 Pt	174 Au	175 Hg	176 Tl	177 Pb	178 Bi
165 Db	166 Sg	167 Bh	168 Hs	169 Mt	170 Ds	171 Nh	172 Ta	173 W	174 Re	175 Os	176 Ir	177 Pt	178 Au	179 Hg	180 Tl	181 Pb	182 Bi
169 Db	170 Sg	171 Bh	172 Hs	173 Mt	174 Ds	175 Nh	176 Ta	177 W	178 Re	179 Os	180 Ir	181 Pt	182 Au	183 Hg	184 Tl	185 Pb	186 Bi
173 Db	174 Sg	175 Bh	176 Hs	177 Mt	178 Ds	179 Nh	180 Ta	181 W	182 Re	183 Os	184 Ir	185 Pt	186 Au	187 Hg	188 Tl	189 Pb	190 Bi
177 Db	178 Sg	179 Bh	180 Hs	181 Mt	182 Ds	183 Nh	184 Ta	185 W	186 Re	187 Os	188 Ir	189 Pt	190 Au	191 Hg	192 Tl	193 Pb	194 Bi
181 Db	182 Sg	183 Bh	184 Hs	185 Mt	186 Ds	187 Nh	188 Ta	189 W	190 Re	191 Os	192 Ir	193 Pt	194 Au	195 Hg	196 Tl	197 Pb	198 Bi
185 Db	186 Sg	187 Bh	188 Hs	189 Mt	190 Ds	191 Nh	192 Ta	193 W	194 Re	195 Os	196 Ir	197 Pt	198 Au	199 Hg	200 Tl	201 Pb	202 Bi
189 Db	190 Sg	191 Bh	192 Hs	193 Mt	194 Ds	195 Nh	196 Ta	197 W	198 Re	199 Os	200 Ir	201 Pt	202 Au	203 Hg	204 Tl	205 Pb	206 Bi
193 Db	194 Sg	195 Bh	196 Hs	197 Mt	198 Ds	199 Nh	200 Ta	201 W	202 Re	203 Os	204 Ir	205 Pt	206 Au	207 Hg	208 Tl	209 Pb	210 Bi
197 Db	198 Sg	199 Bh	200 Hs	201 Mt	202 Ds	203 Nh	204 Ta	205 W	206 Re	207 Os	208 Ir	209 Pt	210 Au	211 Hg	212 Tl	213 Pb	214 Bi
201 Db	202 Sg	203 Bh	204 Hs	205 Mt	206 Ds	207 Nh	208 Ta	209 W	210 Re	211 Os	212 Ir	213 Pt	214 Au	215 Hg	216 Tl	217 Pb	218 Bi
205 Db	206 Sg	207 Bh	208 Hs	209 Mt	210 Ds	211 Nh	212 Ta	213 W	214 Re	215 Os	216 Ir	217 Pt	218 Au	219 Hg	220 Tl	221 Pb	222 Bi
209 Db	210 Sg	211 Bh	212 Hs	213 Mt	214 Ds	215 Nh	216 Ta	217 W	218 Re	219 Os	220 Ir	221 Pt	222 Au	223 Hg	224 Tl	225 Pb	226 Bi
213 Db	214 Sg	215 Bh	216 Hs	217 Mt	218 Ds	219 Nh	220 Ta	221 W	222 Re	223 Os	224 Ir	225 Pt	226 Au	227 Hg	228 Tl	229 Pb	230 Bi
217 Db	218 Sg	219 Bh	220 Hs	221 Mt	222 Ds	223 Nh	224 Ta	225 W	226 Re	227 Os	228 Ir	229 Pt	230 Au	231 Hg	232 Tl	233 Pb	234 Bi
221 Db	222 Sg	223 Bh	224 Hs	225 Mt	226 Ds	227 Nh	228 Ta	229 W	230 Re	231 Os	232 Ir	233 Pt	234 Au	235 Hg	236 Tl	237 Pb	238 Bi
225 Db	226 Sg	227 Bh	228 Hs	229 Mt	230 Ds	231 Nh	232 Ta	233 W	234 Re	235 Os	236 Ir	237 Pt	238 Au	239 Hg	240 Tl	241 Pb	242 Bi
229 Db	230 Sg	231 Bh	232 Hs	233 Mt	234 Ds	235 Nh	236 Ta	237 W	238 Re	239 Os	240 Ir	241 Pt	242 Au	243 Hg	244 Tl	245 Pb	246 Bi
233 Db	234 Sg	235 Bh	236 Hs	237 Mt	238 Ds	239 Nh	240 Ta	241 W	242 Re	243 Os	244 Ir	245 Pt	246 Au	247 Hg	248 Tl	249 Pb	250 Bi
237 Db	238 Sg	239 Bh	240 Hs	241 Mt	242 Ds	243 Nh	244 Ta	245 W	246 Re	247 Os	248 Ir	249 Pt	250 Au	251 Hg	252 Tl	253 Pb	254 Bi
241 Db	242 Sg	243 Bh	244 Hs	245 Mt	246 Ds	247 Nh	248 Ta	249 W	250 Re	251 Os	252 Ir	253 Pt	254 Au	255 Hg	256 Tl	257 Pb	258 Bi
245 Db	246 Sg	247 Bh	248 Hs	249 Mt	250 Ds	251 Nh	252 Ta	253 W	254 Re	255 Os	256 Ir	257 Pt	258 Au	259 Hg	260 Tl	261 Pb	262 Bi
249 Db	250 Sg	251 Bh	252 Hs	253 Mt	254 Ds	255 Nh	256 Ta	257 W	258 Re	259 Os	260 Ir	261 Pt	262 Au	263 Hg	264 Tl	265 Pb	266 Bi
253 Db	254 Sg	255 Bh	256 Hs	257 Mt	258 Ds	259 Nh	260 Ta	261 W	262 Re	263 Os	264 Ir	265 Pt	266 Au	267 Hg	268 Tl	269 Pb	270 Bi
257 Db	258 Sg	259 Bh	260 Hs	261 Mt	262 Ds	263 Nh	264 Ta	265 W	266 Re	267 Os	268 Ir	269 Pt	270 Au	271 Hg	272 Tl	273 Pb	274 Bi
261 Db	262 Sg	263 Bh	264 Hs	265 Mt	266 Ds	267 Nh	268 Ta	269 W	270 Re	271 Os	272 Ir	273 Pt	274 Au	275 Hg	276 Tl	277 Pb	278 Bi
265 Db	266 Sg	267 Bh	268 Hs	269 Mt	270 Ds	271 Nh	272 Ta	273 W	274 Re	275 Os	276 Ir	277 Pt	278 Au	279 Hg	280 Tl	281 Pb	282 Bi
269 Db	270 Sg	271 Bh	272 Hs	273 Mt	274 Ds	275 Nh	276 Ta	277 W	278 Re	279 Os	280 Ir	281 Pt	282 Au	283 Hg	284 Tl	285 Pb	286 Bi
273 Db	274 Sg	275 Bh	276 Hs	277 Mt	278 Ds	279 Nh	280 Ta	281 W	282 Re	283 Os	284 Ir	285 Pt	286 Au	287 Hg	288 Tl	289 Pb	290 Bi
277 Db	278 Sg	279 Bh	280 Hs	281 Mt	282 Ds	283 Nh	284 Ta	285 W	286 Re	287 Os	288 Ir	289 Pt	290 Au	291 Hg	292 Tl	293 Pb	294 Bi
281 Db	282 Sg	283 Bh	284 Hs	285 Mt	286 Ds	287 Nh	288 Ta	289 W	290 Re	291 Os	292 Ir	293 Pt	294 Au	295 Hg	296 Tl	297 Pb	298 Bi
285 Db	286 Sg	287 Bh	288 Hs	289 Mt	290 Ds	291 Nh	292 Ta	293 W	294 Re	295 Os	296 Ir	297 Pt	298 Au	299 Hg	300 Tl	301 Pb	302 Bi
289 Db	290 Sg	291 Bh	292 Hs	293 Mt	294 Ds	295 Nh	296 Ta	297 W	298 Re	299 Os	300 Ir	301 Pt	302 Au	303 Hg	304 Tl	305 Pb	306 Bi
293 Db	294 Sg	295 Bh	296 Hs	297 Mt	298 Ds	299 Nh	300 Ta	301 W	302 Re	303 Os	304 Ir	305 Pt	306 Au	307 Hg	308 Tl	309 Pb	310 Bi
297 Db	298 Sg	299 Bh	300 Hs	301 Mt	302 Ds	303 Nh	304 Ta	305 W	306 Re	307 Os	308 Ir	309 Pt	310 Au	311 Hg	312 Tl	313 Pb	314 Bi
301 Db	302 Sg	303 Bh	304 Hs	305 Mt	306 Ds	307 Nh	308 Ta	309 W	310 Re	311 Os	312 Ir	313 Pt	314 Au	315 Hg	316 Tl	317 Pb	318 Bi
305 Db	306 Sg	307 Bh	308 Hs	309 Mt	310 Ds	311 Nh	312 Ta	313 W	314 Re	315 Os	316 Ir	317 Pt	318 Au	319 Hg	320 Tl	321 Pb	322 Bi
309 Db	310 Sg	311 Bh	312 Hs	313 Mt	314 Ds	315 Nh	316 Ta	317 W	318 Re	319 Os	320 Ir	321 Pt	322 Au	323 Hg	324 Tl	325 Pb	326 Bi
313 Db	314 Sg	315 Bh	316 Hs	317 Mt</													

2-01**Multiple Choice****10pt**Kreuze für jede der folgenden Teilaufgaben jeweils alle richtigen Antworten an.

Hinweis: Es können immer auch mehrere Antworten richtig sein, selbst wenn die Frage so formuliert ist, als wäre nur eine Antwort richtig.

a) Welches Nuklid enthält die meisten Neutronen?

☐	☐	☐	☒	☐
^{40}Ca	^{37}Cl	^{34}S	^{39}Ar	^{41}Ti

b) In welcher Anordnung sind die Elemente nach steigender Elektronegativität sortiert?

☐	☒	☐	☐	☒
$\text{C} < \text{H} < \text{F}$	$\text{Si} < \text{C} < \text{N}$	$\text{S} < \text{F} < \text{Ne}$	$\text{Mg} < \text{Al} < \text{Li}$	$\text{P} < \text{S} < \text{O}$

c) Wie lautet die Verhältnisformel der ungeladenen Verbindung Cuprospinell?

☐	☐	☒	☐	☐
CuFeO_4	Cu_2FeO_4	CuFe_2O_4	$\text{Cu}_2\text{Fe}_3\text{O}_4$	CuFe_4O_4

d) Wie viele Elektronen mit der Hauptquantenzahl 3 kann es in einem Atom maximal geben?

☐	☐	☐	☐	☒
2	8	9	16	18

e) Welches der Salze ist unlöslich in Wasser (< 1 g/L bei Raumtemperatur)?

☒	☐	☐	☒	☐
BaCO_3	KNO_3	CaCl_2	AgBr	KHCO_3

f) Welches Element verursacht eine rote Flammenfärbung?

☐	☒	☐	☒	☐
Cu	Li	K	Sr	Ba

g) Welche der Säuren ist die stärkste?

☐	☐	☒	☐	☐
HCl	HF	HClO_4	HOCl	NH_4^+

h) Welche Verbindung besitzt den höchsten Siedepunkt?

☐	☒	☐	☐	☐
CH_4	HF	HBr	NH_3	H_2S

i) Wie lautet die Summenformel der Verbindung 3-Ethyl-4-methylheptan?

☐	☐	☐	☐	☒
C_7H_{14}	C_7H_{16}	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}$	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$

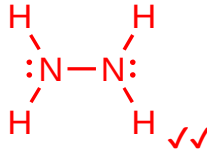
j) Welche Verbindungen entstehen formal bei der Reaktion eines Ketons mit einem Alkohol?

☐	☐	☐	☒	☒
Ester	Ether	Aldehyde	Ketale	Acetale

10pt: 1pt je Frage (Bei 1 richtiger Antwort: 1pt je richtiges Kreuz, -1pt je falsches Kreuz. Bei 2 richtigen Antworten: 0,5pt je richtiges Kreuz, -0,5pt je falsches Kreuz. Nicht <0pt pro Frage).

2-02**Kurzfragen****15pt**

- a) Zeichne die LEWIS-Formel von Hydrazin (N_2H_4) und bestimme die Oxidationszahl der Stickstoffatome.

Oxidationszahl: -2 / -II $\checkmark \checkmark$

2pt: 1pt Lewis-Formel (freie Elektronenpaare auch als Strich möglich), **-0,5pt** falls freie Elektronenpaare fehlen, **1pt** Oxidationszahl

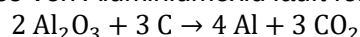
- b) Vervollständige die vorgegebene Elektronenkonfiguration eines Fluoratoms im Grundzustand, indem du die fehlenden Zahlen in die Lücken schreibst.

**1pt: 0,5pt** je Lücke

- c) Nenne ein Element, das bei Standardbedingungen flüssig ist.

Brom oder Quecksilber $\checkmark \checkmark$ **1pt**

- d) Bei der Schmelzflusselektrolyse von Aluminiumoxid läuft folgende Reaktion ab:



Berechne die Masse m_C des Kohlenstoffs, der zur Herstellung von $m_{\text{Al}} = 1 \text{ t}$ Aluminium benötigt wird.

Verhältnis der Stoffmengen aufstellen und (molare) Massen einsetzen:

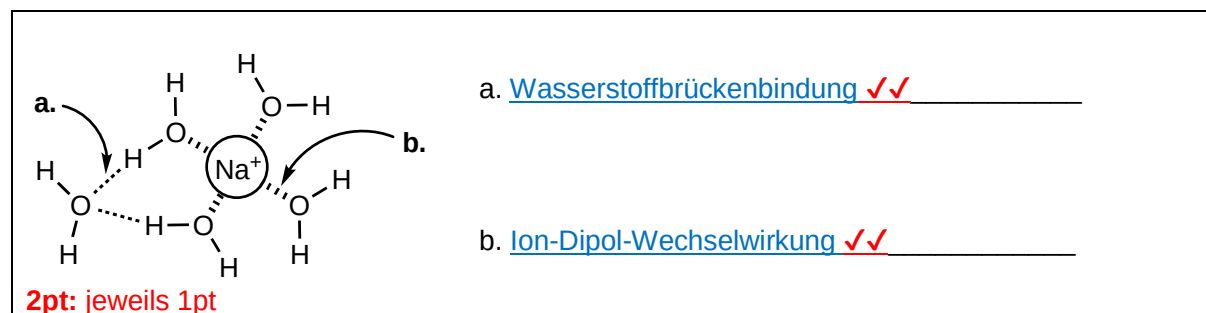
$$\frac{3}{4} = \frac{n_C}{n_{\text{Al}}} = \frac{m_C \cdot M_{\text{Al}}}{M_C \cdot m_{\text{Al}}} \quad \checkmark \checkmark$$

Umformen, Werte einsetzen und Ergebnis berechnen:

$$m_C = \frac{3 \cdot M_C \cdot m_{\text{Al}}}{4 \cdot M_{\text{Al}}} = \frac{3 \cdot 12,011 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 1 \text{ t}}{4 \cdot 26,982 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,334 \text{ t} \quad \checkmark \checkmark$$

2pt: 1pt Rechenweg, **1pt** Ergebnis

- e) Die Abbildung zeigt schematisch die Hydrathülle eines hydratisierten Natriumions. Benenne jeweils die Art der intermolekularen Wechselwirkung, die bei **a.** und **b.** vorliegt.

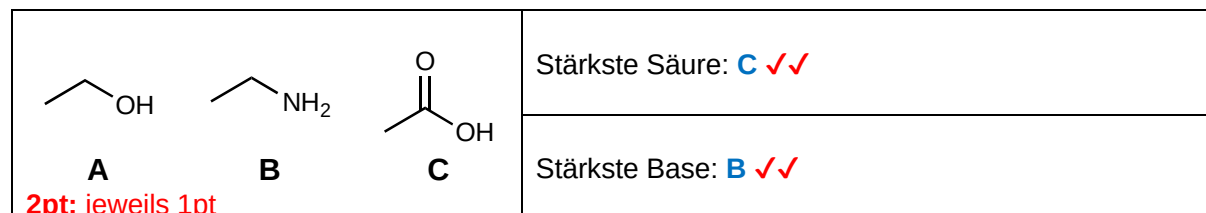


- f) Bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse wird in Wasser gelöstes Kochsalz zu Natronlauge, Chlor- und Wasserstoffgas umgesetzt. Gib für diese Reaktion eine ausgeglichene Reaktionsgleichung mit Aggregatzuständen an.



2pt: 0,5pt alle Summenformeln, 0,5pt alle Aggregatzustände („aq“ ist kein Aggregatzustand, deshalb hier nicht verlangt), 1pt ausgeglichene Gleichung (wird nur vergeben, wenn alle Summenformeln korrekt)

- g) Gib jeweils an, welche der Verbindungen **A**, **B** und **C** die stärkste Säure bzw. die stärkste Base ist.



- h) Zeichne jeweils die Strukturformel desjenigen Isomers mit der Summenformel $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$, das zu der entsprechenden Beschreibung passt.

Strukturformel	✓✓ 1pt	✓✓ 1pt	✓✓ 1pt
Beschreibung	Bei diesem Isomer handelt es sich um ein sehr gängiges Lösungsmittel , das zur Gruppe der Ketone gehört.	Der systematische Name dieses Isomers lautet (E)-Prop-1-en-1-ol .	Dieses Isomer ist cyclisch und besitzt eine freie Hydroxygruppe .

2-03

Geschwefelter Wein

15pt

Zur Verlängerung der Haltbarkeit kann Wein geschwefelt werden, wobei man unter Schwefeln die Behandlung des Weins mit Schwefeldioxid (SO_2) versteht. Schwefeldioxid reagiert dabei mit dem im Wein enthaltenen Wasser zu schwefliger Säure (H_2SO_3).

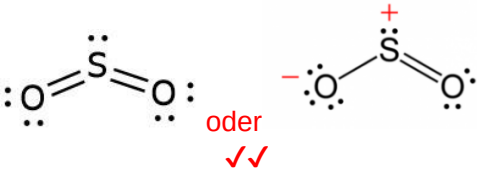
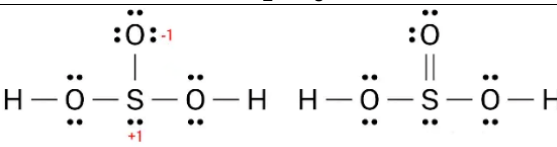
- a) Formuliere die ausgeglichene Reaktionsgleichung für die Bildung von schwefliger Säure beim Schwefeln von Wein.



1pt

- b) Vervollständige die folgende Tabelle:

- i) Zeichne die LEWIS-Formeln von Schwefeldioxid und schwefliger Säure.
 ii) Kreuze jeweils an, welche Bindungsgeometrie um das Schwefelatom nach dem VSEPR-Modell vorliegt.
 iii) Gib jeweils die Oxidationszahl des Schwefelatoms an.

	SO_2	H_2SO_3
LEWIS-Formel		 ✓✓ Analog SO_2 auch Struktur mit Formalladungen möglich
VSEPR-Struktur	☐ linear ☒ trigonal pyramidal ☒ tetraedisch	☐ linear ☒ trigonal pyramidal ☐ tetraedisch
Oxidationszahl	+4 bzw. + IV ✓	+4 bzw. + IV ✓

4pt

Für trockene Qualitätsweißweine gilt in der EU ein gesetzlicher Höchstwert für den Schwefelgehalt in Höhe von 250 mg/L bezogen auf die Masse von Schwefeldioxid. Dieser Wert kann analytisch überprüft werden, indem eine Weißweinprobe mit verdünnter Schwefelsäure, Stärkelösung und einer Spatelspitze Kaliumiodid versetzt und anschließend mit Iod-Lösung bis zur Blaufärbung titriert wird.

- c) Vervollständige die Reaktionsgleichung der Reaktion von Schwefeldioxid mit Iod.



2pt: vollständig ausgeglichene Gleichung (1en dürfen weggelassen werden.)

50,0 mL eines Weißweins der Sorte Riesling werden auf diese Weise untersucht. Bei der Titration werden 14,7 mL einer 0,01-molaren Iodlösung verbraucht.

- d) Berechne, ob der untersuchte Weißwein den gesetzlichen Höchstwert für den Schwefelgehalt einhält.

Berechnung der Stoffmenge des Iods (✓ Rechenweg, ✓ Ergebnis):

$$n(\text{I}_2) = c(\text{I}_2) \cdot V(\text{Verbrauch}) = 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 14,7 \text{ mL} = 0,147 \text{ mmol}$$

Berechnung der Stoffmenge des Schwefeldioxids (✓ Ergebnis):

$$n(\text{SO}_2) = n(\text{I}_2) = 0,147 \text{ mmol}$$

Berechnung der Masse des Schwefeldioxids (✓ Rechenweg, ✓ Ergebnis):

$$m(\text{SO}_2) = n(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2) = 0,147 \text{ mmol} \cdot 64,06 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 9,42 \text{ mg}$$

Berechnung der Masse des Schwefeldioxids in 1 L Wein (✓ Ergebnis):

$$m(\text{SO}_2) = 9,42 \text{ mg} \cdot \frac{1 \text{ L}}{50,0 \text{ mL}} = 188 \text{ mg} < 250 \text{ mg}$$

Demzufolge hält der Wein den Grenzwert ein (✓).

4pt: 2,5pt Rechenweg, 1pt Ergebnis, 0,5pt Vergleich mit Höchstwert und Schlussfolgerung
Folgefehler werden gegeben, falls bei c) falsch ausgeglichen wurde.

$$\begin{aligned} V_{\text{Wein}} &= 50,0 \text{ mL} \\ c_{\text{I}_2} &= 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ V_{\text{Verbrauch}} &= 14,7 \text{ mL} \end{aligned}$$

Vor der genauen Analyse kann man auch schon qualitativ überprüfen, ob Sulfit-Ionen in der Probe enthalten sind.

- e) Vervollständige den folgenden Text zur qualitativen Analyse von Sulfit-Ionen in Wein, indem du ankreuzt bzw. die Lücken ergänzt.

Die Weinprobe wird leicht angesäuert und mit Kaliumpermanganat (KMnO_4) versetzt. Wenn Sulfit anwesend ist, wird dieses zu Sulfat oxidiert und Permanganat wird reduziert zu:

☐ Mn ☒ Mn^{2+} ✓✓ ☐ MnO_2 ☐ MnO_4^{2-}

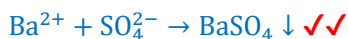
Dabei kann folgender Farbwechsel beobachtet werden:

☒ von violett zu farblos ✓✓ ☐ von grün zu violett ☐ von violett zu braun

Dieser Nachweis kann allerdings gestört werden von anderen Ionen wie:

☐ Mg^{2+} ☐ Fe^{3+} ☒ Fe^{2+} ✓✓ ☐ Zn^{2+} ☐ Na^+

Um sicher zu gehen, dass auch tatsächlich Sulfat in der Lösung vorliegt, können einige Tropfen einer Lösung von Bariumchlorid zugegeben werden, wobei sich ein weißer Niederschlag bilden sollte. Gib die Ionengleichung der dabei ablaufenden Reaktion an und markiere den Niederschlag mit einem Pfeil ↓:



0,5pt bei falsch verwendetem Niederschlagspfeil

4pt: 1pt je vollständig korrekte Lücke

2-04**Soda – dank SOLVAY-Verfahren einfach so da?****20pt**

Soda (Natriumcarbonat) ist ein wichtiges großtechnisches Produkt, das im Multi-Millionen-Tonnenmaßstab hergestellt wird und unter anderem in der Chemie-, Lebensmittel- und Waschmittelindustrie eine Rolle spielt. Die Produktion erfolgt dabei hauptsächlich über das SOLVAY-Verfahren aus Natriumchlorid und Calciumcarbonat, wobei Calciumchlorid als Abfall anfällt.

a) Formuliere die Reaktionsgleichung des SOLVAY-Verfahrens.



1pt: Keine Teilpunkte

Eine bedeutende Größe zur Charakterisierung großtechnischer Verfahren ist die Atomökonomie, die als das Verhältnis der Molmasse des gewünschten Produkts zur Summe der Molmassen aller Edukte definiert ist:

$$\text{Atomökonomie} = \frac{\text{Molmasse des gewünschten Produkts}}{\sum \text{Molmassen aller Edukte}} \cdot 100 \%$$

b) Berechne die Atomökonomie des SOLVAY-Verfahrens in Prozent.

Molare Massen des gewünschten Produkts und der Edukte in die Formel einsetzen ($\checkmark\checkmark$) und Endergebnis berechnen ($\checkmark\checkmark$):

$$\text{Atomökonomie} = \frac{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{2 \cdot M(\text{NaCl}) + M(\text{CaCO}_3)} = \frac{105,99 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{2 \cdot 58,44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 100,09 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 100 \% = 48,9 \%$$

2pt: 1pt Ansatz, 1pt Endergebnis

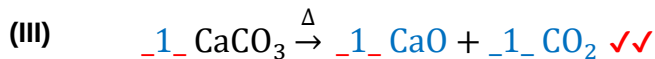
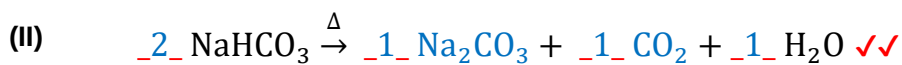
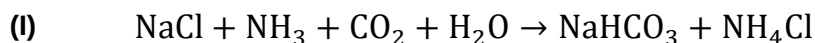
c) Kreuze für jede der Aussagen zum Thema Atomökonomie an, ob sie wahr oder falsch ist.

	wahr	falsch
Verfahren mit hoher Atomökonomie sind im Sinne der Nachhaltigkeit zu bevorzugen, da weniger Nebenprodukte entsorgt werden müssen.	X $\checkmark$	☐
Bei katalytischen Reaktionen hat die Wahl des Katalysators einen großen Einfluss auf die Atomökonomie.	☐	X $\checkmark$
Für autokatalytische Reaktionen kann die Atomökonomie auch Werte über 100 % annehmen.	☐	X $\checkmark$
Die Atomökonomie des Haber-Bosch-Verfahrens beträgt 100 %.	X $\checkmark$	☐

2pt: 0,5pt je korrekte Antwort. 0pt bei mehr als einem Kreuz pro Zeile.

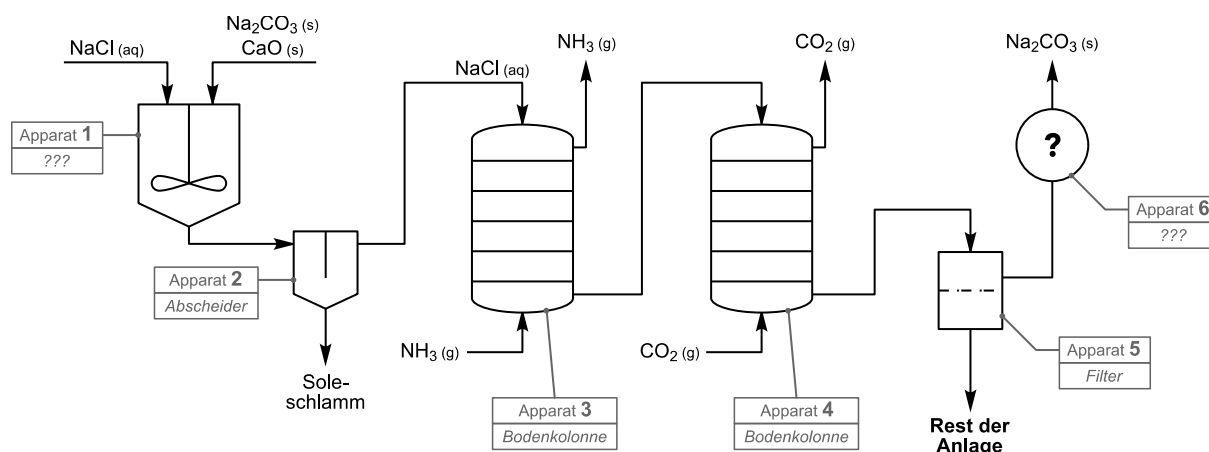
Da die direkte Bildung von Soda aus den Edukten thermodynamisch ungünstig ist, kommt beim Solvay-Verfahren noch Ammoniak zum Einsatz. Dieses fällt jedoch nicht als Nebenprodukt an, da es in einem geschlossenen Kreislauf bestehend aus den Reaktionen I bis IV verbleibt.

d) Vervollständige die Reaktionsgleichungen der Reaktionen II bis IV.



3pt: 1pt je Reaktion (0,5pt Verbindungen, 0,5pt Stöchiometrie, 1en dürfen auch weggelassen werden, Stöchiometrie wird nur bei korrekten Verbindungen gewertet)

Für die großtechnische Umsetzung des SOLVAY-Verfahrens wird eine Reihe verfahrenstechnischer Apparate benötigt. Folgend ist ein vereinfachtes Verfahrensfliesschema eines Teils einer solchen Anlage, der die Apparate 1 – 6 umfasst, gezeigt. Stoffströme sind durch Pfeile dargestellt.



e) Folgender Text beschäftigt sich mit den Apparaten 1 und 2. Vervollständige ihn, indem du ankreuzt bzw. die Lücken ergänzt.

Bei Apparat 1 handelt es sich um eine/n...

- ☐ Flüssigkeitspumpe ☐ Zerkleinerer ☐ Kolonne ☒ **Rührkessel** ✓✓

1pt: 1pt je richtiges Kreuz, -1pt je falsches Kreuz, nicht <0pt

Apparat 2, ein Abscheider, soll Feststoffe (Sole-schlamm) von der Flüssigkeit (Sole) abtrennen. Das Trennprinzip beruht dabei auf der/dem unterschiedlichen...

- ☐ Partikelgröße ☒ **Dichte** ✓✓ ☐ Wasserlöslichkeit ☐ Siedepunkt

1pt: 1pt je richtiges Kreuz, -1pt je falsches Kreuz, nicht <0pt

...von Feststoff und Flüssigkeit.

Die Funktion der beiden Apparate ist...

- ☐ Soda-Impfkristalle in die Sole einzubringen, damit mehr Soda entsteht.
- ☐ einen basischen pH in der Sole einzustellen, sodass sich im nächsten Schritt mehr Ammoniak lösen kann.
- ☒ **die Sole zu reinigen, indem störende Ionen ausgefällt werden.** ✓✓
- ☐ die Sole vorzuwärmen, sodass die folgenden Reaktionen schneller ablaufen.

1pt: 1pt je richtiges Kreuz, -1pt je falsches Kreuz, nicht <0pt

- f) Folgender Text beschäftigt sich mit den Apparaten 3 – 6. Vervollständige ihn, indem du ankreuzt bzw. die Lücken ergänzt.

In den Apparaten 3 und 4 soll jeweils ein Gas in die Sole eingebracht werden, wofür hier Bodenkolonnen verwendet werden. Zwei mögliche Bauformen von Bodenkolonnen sind:

Glockenbodenkolonne, Siebbodenkolonne, Ventilbodenkolonne ✓✓

1pt: 0,5pt je Bauform

In Apparat 4 läuft außerdem folgende Reaktion ab:

☒ Reaktion I ✓ ☐ Reaktion II ☐ Reaktion III ☐ Reaktion IV

0,5pt: 0,5pt je richtiges Kreuz, -0,5pt je falsches Kreuz, nicht <0pt

Dabei entsteht ein Feststoff, der in Filter 5 abfiltriert wird. Dieser Feststoff wird anschließend in Apparat 6 zum Endprodukt Soda umgesetzt, was folgender Reaktion entspricht:

☐ Reaktion I ☒ Reaktion II ✓ ☐ Reaktion III ☐ Reaktion IV

0,5pt: 0,5pt je richtiges Kreuz, -0,5pt je falsches Kreuz, nicht <0pt

Bei Apparat 6 handelt es sich um eine/n...

☐ Abscheider ☐ Elektrolysezelle ☒ Rohrofen ✓✓ ☐ Kühlturm

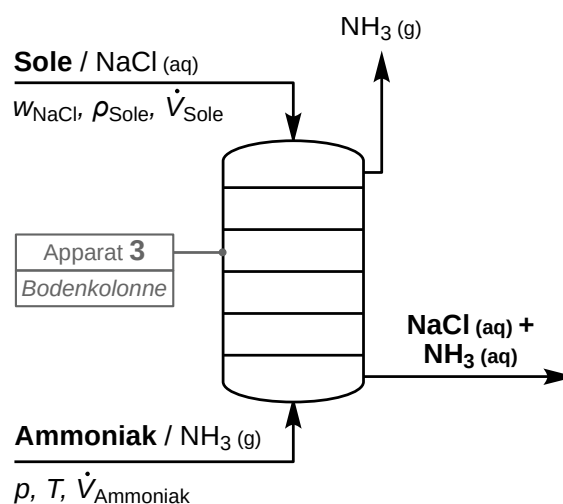
1pt: 1pt je richtiges Kreuz, -1pt je falsches Kreuz, nicht <0pt

In den folgenden Teilaufgaben betrachten wir ausschließlich den Apparat 3 im stationären Betrieb. In den Apparat fließen die Sole sowie Ammoniak-Gas mit einem Volumenstrom $\dot{V}_{\text{Ammoniak}}$. Das Ammoniak löst sich in der Sole, wobei ein Umsatz von $\xi = 60\%$ erzielt wird.

Reaktion	
Gleichung	$\text{NH}_3(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_3(\text{aq})$
Umsatz	$\xi = 60\%$

Eigenschaften Sole	
Salzgehalt (Massenanteil)	$w_{\text{NaCl}} = 15\%$
Volumenstrom	$\dot{V}_{\text{Sole}} = 10 \frac{\text{L}}{\text{min}}$
Dichte	$\rho_{\text{Sole}} = 1,11 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$

Eigenschaften Ammoniak	
Druck	$p = 5 \text{ bar}$
Temperatur	$T = 298 \text{ K}$



Der Volumenstrom $\dot{V}_{\text{Ammoniak}}$ soll so eingestellt werden, dass die ausfließende Lösung einen zweifachen Ammoniak-Überschuss enthält, d.h. dass c_{NH_3} doppelt so groß wie c_{NaCl} ist.

g) Berechne den Stoffmengenstrom von Natriumchlorid $\dot{n}_{\text{NaCl}}$, der in den Apparat fließt.

Massenstrom der Sole:

$$\dot{m}_{\text{Sole}} = \dot{V}_{\text{Sole}} \cdot \rho_{\text{Sole}} = 10 \frac{\text{L}}{\text{min}} \cdot 1,11 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 11,1 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \quad \checkmark$$

Massenstrom von Natriumchlorid:

$$\dot{m}_{\text{NaCl}} = w_{\text{NaCl}} \cdot \dot{m}_{\text{Sole}} = 15 \% \cdot 11,1 \frac{\text{kg}}{\text{min}} = 1,67 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \quad \checkmark$$

Stoffmengenstrom von Natriumchlorid:

$$\dot{n}_{\text{NaCl}} = \frac{\dot{m}_{\text{NaCl}}}{M_{\text{NaCl}}} = \frac{1,67 \frac{\text{kg}}{\text{min}}}{58,44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 28,6 \frac{\text{mol}}{\text{min}} = 0,476 \frac{\text{mol}}{\text{s}} = 1715 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \quad \checkmark \checkmark \checkmark$$

2,5pt: 1,5pt Rechenweg, 1pt Endergebnis (egal welche Einheit)

h) Berechne den Volumenstrom $\dot{V}_{\text{Ammoniak}}$ im stationären Betrieb des Absorbers in der Einheit $\frac{\text{L}}{\text{s}}$. Handle Ammoniak dabei als ideales Gas.

► **Notfallwert:** $\dot{n}_{\text{NaCl}} = 30 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$

Stoffmengenstrom von Ammoniak unter Berücksichtigung des zweifachen Überschusses (✓) und des Umsatzes (✓):

$$\dot{n}_{\text{NH}_3} = \frac{2 \cdot \dot{n}_{\text{NaCl}}}{\xi} = \frac{2 \cdot 28,6 \frac{\text{mol}}{\text{min}}}{60 \%} = 95,3 \frac{\text{mol}}{\text{min}} \quad \checkmark$$

Für den Volumenstrom von Ammoniak folgt mit $pV = nRT \Leftrightarrow V = \frac{nRT}{p}$ ✓:

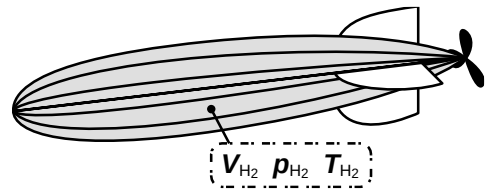
$$\dot{V}_{\text{Ammoniak}} = \frac{\dot{n}_{\text{NH}_3} RT}{p} = \frac{95,3 \frac{\text{mol}}{\text{min}} \cdot 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298 \text{ K}}{5 \text{ bar}} = 0,472 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 7,87 \frac{\text{L}}{\text{s}} \quad \checkmark \checkmark \checkmark$$

Mit dem Ersatzwert ist $\dot{n}_{\text{NH}_3} = 100 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$ und $\dot{V}_{\text{Ammoniak}} = 0,496 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 8,26 \frac{\text{L}}{\text{s}}$.

3,5pt: 1pt Rechenweg $\dot{n}_{\text{NH}_3}$, 0,5pt Zwischenergebnis $\dot{n}_{\text{NH}_3}$ (wird auch gegeben, wenn Endergebnis korrekt und Zwischenergebnis nicht explizit angegeben), 0,5pt ideales Gasgesetz, 1,5pt Endergebnis $\dot{V}_{\text{NH}_3}$ (0,5pt bei falscher Einheit)

2-05**HINDENBURG****15pt**

Der Zeppelin LZ 129, besser bekannt als die HINDENBURG, war ein berühmtes Luftschiff, in dem Wasserstoff als Traggas zum Einsatz kam. Im Betrieb war die HINDENBURG mit $V_{\text{H}_2} = 190\,000\text{ m}^3$ Wasserstoff gefüllt. Vor dem Abflug besaß das Wasserstoffgas einen Druck von $p_{\text{H}_2} = 1\text{ bar}$ und eine Temperatur von $T_{\text{H}_2} = 25\text{ °C}$.



a) Berechne die Stoffmenge n_{H_2} des Wasserstoffs, die sich in der HINDENBURG befand.

Ideales Gasgesetz (✓) nach der Stoffmenge aufgelöst (✓):

$$pV = n_{\text{H}_2}RT \Leftrightarrow n_{\text{H}_2} = \frac{pV}{RT}$$

Temperatur in K umrechnen (✓), Werte einsetzen und Ergebnis berechnen (✓✓):

$$n_{\text{H}_2} = \frac{1\text{ bar} \cdot 190000\text{ m}^3}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (25 + 273)\text{ K}} = 7,669 \cdot 10^6\text{ mol}$$

2,5pt: 0,5pt Ansatz Gasgesetz, 0,5pt Auflösen nach n_{H_2} , 0,5pt T in K, 1pt Ergebnis

b) Berechne unter den gegebenen Bedingungen die Dichte des Wasserstoffgases in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

➔ **Notfallwert:** $n_{\text{H}_2} = 8 \cdot 10^6\text{ mol}$

Formel für Dichte aufstellen (✓) und Formel für Masse einsetzen (✓):

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{n_{\text{H}_2} M_{\text{H}_2}}{V}$$

Werte einsetzen und Ergebnis berechnen (✓✓):

$$\rho = \frac{7,669 \cdot 10^6\text{ mol} \cdot 2,016 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{190000\text{ m}^3} = 0,0814 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Mit dem Notfallwert folgt $\rho = 0,0849 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

2pt: 0,5pt Formel Dichte, 0,5pt Formel Masse, 1pt Ergebnis, Punkte für den Rechenweg auch, wenn für n_{H_2} erneut Gasgesetz eingesetzt wird

c) Vervollständige den Lückentext, indem du jeweils alle passenden Begriffe ankreuzt.

Nach dem Satz von AVOGADRO ist die (1) eines Gases, wenn Druck, Temperatur und Volumen gleich sind, unabhängig von der Teilchenart. Da die mittlere molare Masse von Luft rund (2) so groß wie die von Wasserstoff ist, ist Luft bei sonst gleichen Bedingungen (3) als Wasserstoff. Dadurch erfährt das Luftschiff eine (4).

Lücke (1) **1pt**

- ☒ Stoffmenge ✓
☐ Masse
☒ Teilchenzahl ✓
☐ Dichte

Lücke (2) **0,5pt**

- ☐ 0,5-mal
☐ 5-mal
☒ 15-mal ✓
☐ 30-mal

Lücke (3) **0,5pt**

- ☒ dichter ✓
☐ weniger dicht

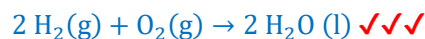
Lücke (4) **0,5pt**

- ☐ Verdichtung
☒ Auftriebskraft ✓
☐ Volumenarbeit
☐ Druckkraft

2,5pt: 0,5pt je richtiges Kreuz, -0,5pt je falsches Kreuz, nicht weniger als 0pt pro Lücke

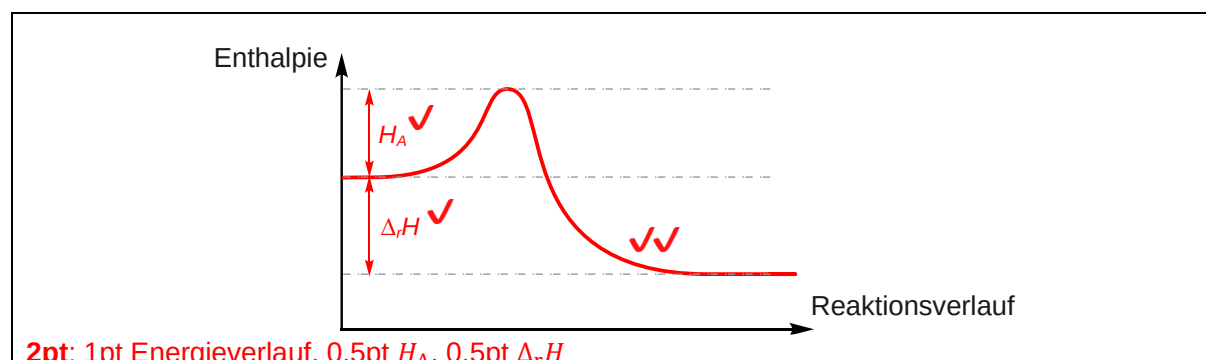
Die HINDENBURG nahm ein jähes Ende, als sich während einer Fahrt das Wasserstoffgas entzündete und das Luftschiff in Flammen aufging. Der Wasserstoff reagierte dabei mit Luftsauerstoff in einer stark exothermen Reaktion zu flüssigem Wasser.

- d) Formuliere eine ausgeglichene Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Wasserstoff. Gib dabei alle Aggregatzustände an.



1,5pt: 1pt Reaktionsgleichung, 0,5pt Aggregatzustände

- e) Skizziere in das vorgegebene Diagramm den Enthalpieverlauf einer exothermen Reaktion und zeichne die Aktivierungsenthalpie H_A und die Reaktionsenthalpie $\Delta_r H$ ein.



Pro Mol Wassermoleküle werden bei der Reaktion aus Teilaufgabe d) $\Delta_r H_{\text{H}_2\text{O}(\text{l})} = -286 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ freigesetzt. Dies kannst du verwenden, um die Stärke der Explosion abzuschätzen.

- f) Berechne, wie viel Energie bei der Verbrennung der HINDENBURG insgesamt freigesetzt wurde. Berechne dann, welche Masse TNT zur Explosion gebracht werden muss, um dieselbe Energiemenge freizusetzen.

► **Notfallwert:** $n_{\text{H}_2} = 8 \cdot 10^6 \text{ mol}$

Wegen $n_{\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{H}_2}$ (✓) gilt für die freigesetzte Energie

(✓ Rechenweg, ✓✓ Ergebnis):

$$E = n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta_r H_{\text{H}_2\text{O}(\text{l})} = 7,669 \cdot 10^6 \text{ mol} \cdot \left(-286 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) = -2,19 \cdot 10^9 \text{ kJ}$$

Für die äquivalente Masse TNT folgt (✓ Formel Masse,

✓✓ Formel Stoffmenge, ✓✓ Ergebnis):

$$m_{\text{TNT}} = n_{\text{TNT}} \cdot M_{\text{TNT}} = \frac{E}{\Delta_r H_{\text{TNT}}} \cdot M_{\text{TNT}} = \frac{-2,19 \cdot 10^9 \text{ kJ}}{-1047 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}} \cdot 227 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 475500 \text{ kg}$$

Die Explosion der Hindenburg entsprach also etwa der Explosion von 475,5 t TNT. Mit dem Notfallwert ist $E = -2,288 \cdot 10^9 \text{ kJ}$ und $m_{\text{TNT}} = 496,1 \text{ t}$.

4,5pt: Entsprechend den Anmerkungen.

Daten TNT

$$M_{\text{TNT}} = 227 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\Delta_r H_{\text{TNT}} = -1047 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

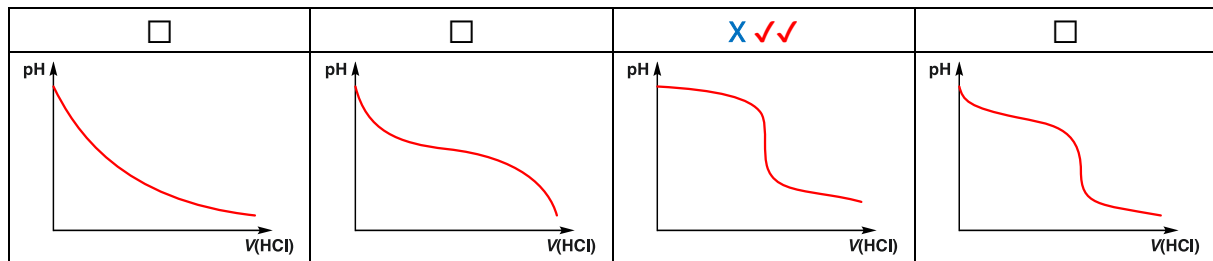
2-06**Ganz schön basic****20pt**

Säure-Base-Titrationen sind eine einfache und schnelle Möglichkeit, die Konzentration einer Säure oder Base in einer Probe zu bestimmen.

Teil I: Titration von Natronlauge mit Salzsäure

Betrachte im Folgenden die Titration von $V_{\text{NaOH}} = 100 \text{ mL}$ einer Natronlauge der unbekannten Konzentration c_{NaOH} mit Salzsäure der Konzentration $c_{\text{HCl}} = 0,100 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$. Der Äquivalenzpunkt wird nach Zugabe von $V_{\text{HCl}} = 24 \text{ mL}$ erreicht.

- a) Kreuze an, welche der Abbildungen die Titrationskurve der Titration von Natronlauge mit Salzsäure am besten wiedergibt.

**1pt**

- b) Berechne die Konzentration der Natronlauge c_{NaOH} sowie den ursprünglichen pH-Wert der Probelösung.

Aus der Äquivalenz der Stoffmengen am Äquivalenzpunkt folgt:

$$c_{\text{NaOH}} = \frac{n_{\text{NaOH}}}{V_{\text{NaOH}}} = \frac{c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}}{V_{\text{NaOH}}} = \frac{0,100 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 24 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} = 0,024 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \checkmark \checkmark$$

Mit der pOH-Formel für starke Basen gilt:

$$\text{pOH} \approx -\log_{10}\left(c_{\text{NaOH}} \cdot \frac{\text{L}}{\text{mol}}\right) = -\log_{10} 0,024 = 1,6 \quad \checkmark$$

Für den pH-Wert gilt damit:

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 1,6 = 12,4 \quad \checkmark \checkmark \checkmark$$

3pt: 1pt c_{NaOH} (0,5pt Rechenweg, 0,5pt Ergebnis), 2pt pH (1pt Rechenweg, 1pt Ergebnis)

Die einfachste Methode, den Äquivalenzpunkt bei einer Titration zu bestimmen, ist die Verwendung eines pH-Indikators.

- c) Kreuze an, in welchem pH-Bereich der Farbumschlag des Indikators bei der vorliegenden Titration erfolgen sollte.

☐	☒ X ✓✓	☐	☐
2 – 3	6 – 7	10 – 11	1 – 9

1pt

d) Kreuze für jede der Aussagen zum Thema ‚pH-Indikatoren‘ an, ob sie wahr oder falsch ist.

	wahr	falsch
pH-Indikatoren sind immer selbst auch Säuren bzw. Basen.	X ✓	☐
Die Wirkungsweise von pH-Indikatoren beruht auf der Abhängigkeit des elektrochemischen Potentials von der Oxoniumkonzentration.	☐	X ✓
Der Farbumschlag am Äquivalenzpunkt kommt dadurch zustande, dass der pH-Indikator mit Oxonium- bzw. Hydroxidionen reagiert.	X ✓	☐
pH-Indikatoren greifen in Säure-Base-Gleichgewichte ein, indem sie die pK_S - und pK_B -Werte der beteiligten Verbindungen verändern.	☐	X ✓
Wird ein pH-Indikator in einer hohen Konzentration eingesetzt, kann dies das Titrationsergebnis verfälschen.	X ✓	☐
Der Umschlagsbereich des pH-Indikators Methylorange liegt im Sauren.	X ✓	☐

3pt: 0,5pt je korrekte Antwort

Teil II: Ammoniak mit Salzsäure

Betrachte nun die Titration der schwachen Base Ammoniak ($pK_S(\text{NH}_4^+) = 9,24$) mit Salzsäure. Die Probe (Index 0), die $V_0 = 100 \text{ mL}$ umfasst und Ammoniak in einer unbekannten Konzentration c_0 enthält, soll wieder mit Salzsäure der Konzentration $c_{\text{HCl}} = 0,100 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ titriert werden. Leider geht die Salzsäure dabei frühzeitig aus und nach Zugabe von $V_{\text{HCl},1} = 16,3 \text{ mL}$ Salzsäure erreicht die Probelösung lediglich einen pH-Wert von $\text{pH}_1 = 9,05$ (Index 1). Diese Informationen reichen jedoch bereits, um c_0 zu bestimmen.

e) Vervollständige den Rechenweg zur Berechnung der Gesamtkonzentration c_0 von Ammoniak in der Probe entsprechend den Anweisungen.

Hinweis: Beachte in allen folgenden Aufgaben die Volumenänderung der Probelösung durch die Zugabe der Maßlösung!

>> Berechne die Konzentration von Ammonium $c_{\text{NH}_4^+,1}$ am Punkt 1.

$$c_{\text{NH}_4^+,1} = \frac{n_{\text{NH}_4^+,1}}{V_1} = \frac{n_{\text{HCl},1}}{V_1} = \frac{c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl},1}}{V_0 + V_{\text{HCl},1}} = \frac{0,100 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 16,3 \text{ mL}}{100 \text{ mL} + 16,3 \text{ mL}} = 0,014 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \checkmark \checkmark \checkmark$$

1,5pt: 0,5pt Rechenweg, 1pt Ergebnis

>> Berechne das Verhältnis der Konzentrationen von Ammoniak und Ammonium am Punkt 1, das heißt $\frac{c_{\text{NH}_3,1}}{c_{\text{NH}_4^+,1}}$.

$$\text{HENDERSON-HASSELBALCH-Gleichung: } \text{pH} = \text{p}K_S(\text{NH}_4^+) + \log_{10} \left(\frac{c_{\text{NH}_3,1}}{c_{\text{NH}_4^+,1}} \right) \quad \checkmark$$

$$\Rightarrow \log_{10} \left(\frac{c_{\text{NH}_3,1}}{c_{\text{NH}_4^+,1}} \right) = \text{pH} - \text{p}K_S(\text{NH}_4^+)$$

$$\Rightarrow \frac{c_{\text{NH}_3,1}}{c_{\text{NH}_4^+,1}} = 10^{\text{pH} - \text{p}K_S(\text{NH}_4^+)} = 10^{9,05 - 9,24} = 0,646 \quad \checkmark \checkmark \checkmark$$

2pt: 0,5pt Ansatz HENDERSSON-HASSELBALCH, 0,5pt Umformungen, 1pt Endergebnis

>> Berechne die Konzentration von Ammoniak $c_{\text{NH}_3,1}$ am Punkt 1 sowie die Gesamtkonzentration von Ammoniak c_0 in der ursprünglichen Lösung.

► **Notfallwerte:** $c_{\text{NH}_4^+,1} = 0,015 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$, $\frac{c_{\text{NH}_3,1}}{c_{\text{NH}_4^+,1}} = 0,67$

$$c_{\text{NH}_3,1} = c_{\text{NH}_4^+,1} \cdot \frac{c_{\text{NH}_3,1}}{c_{\text{NH}_4^+,1}} = 0,014 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,646 = 0,009 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \checkmark\checkmark$$

Die ursprüngliche Konzentration von Ammoniak ergibt sich aus der Summe der Konzentrationen von Ammoniak und Ammonium am Punkt 1:

$$c_0 = \frac{n_0}{V_0} = \frac{n_{\text{NH}_3,1}}{V_0} = \frac{V_1 \cdot (c_{\text{NH}_3,1} + c_{\text{NH}_4^+,1})}{V_0} = \frac{116,3 \text{ mL} \cdot (0,009 + 0,014) \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{100 \text{ mL}} = 0,027 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \checkmark\checkmark\checkmark$$

Mit den Notfallwerten folgt $c_{\text{NH}_3,1} = 0,010 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ und $c_0 = 0,029 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$.

2,5pt: 1pt Ergebnis $c_{\text{NH}_3,1}$, 1,5pt c_0 (0,5pt Rechenweg, 1pt Ergebnis)

Betrachte abschließend, wie die Titration verlaufen wäre, wenn die Salzsäure nicht ausgegangen wäre.

f) Berechne das Volumen der Salzsäure $V_{\text{HCl},2}$, das zugegeben werden müsste, um den Äquivalenzpunkt (Index 2) zu erreichen.

► **Notfallwert:** $c_0 = 0,030 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

$$V_{\text{HCl},2} = \frac{n_{\text{HCl},2}}{c_{\text{HCl}}} = \frac{V_0 \cdot c_0}{c_{\text{HCl}}} = \frac{100 \text{ mL} \cdot 0,027 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{0,100 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 27 \text{ mL} \checkmark\checkmark$$

Mit dem Notfallwert folgt $V_{\text{HCl},2} = 30 \text{ mL}$.

1pt: 0,5pt Rechenweg, 0,5pt Endergebnis

g) Berechne den pH-Wert pH_2 am Äquivalenzpunkt.

► **Notfallwerte:** $c_0 = 0,030 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$, $V_{\text{HCl},2} = 25 \text{ mL}$

Am Äquivalenzpunkt liegt näherungsweise nur Ammonium (= schwache Säure) der Konzentration $c_{\text{NH}_4^+,2}$ vor (✓):

$$c_{\text{NH}_4^+,2} = \frac{n_{\text{NH}_4^+,2}}{V_2} = \frac{n_{\text{NH}_3,0}}{V_2} = \frac{V_0 \cdot c_0}{V_0 + V_{\text{HCl},2}} = \frac{100 \text{ mL} \cdot 0,027 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{100 \text{ mL} + 27 \text{ mL}} = 0,021 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \checkmark \checkmark$$

Mit der Näherungsformel für schwache Säuren aus der Formelsammlung gilt:

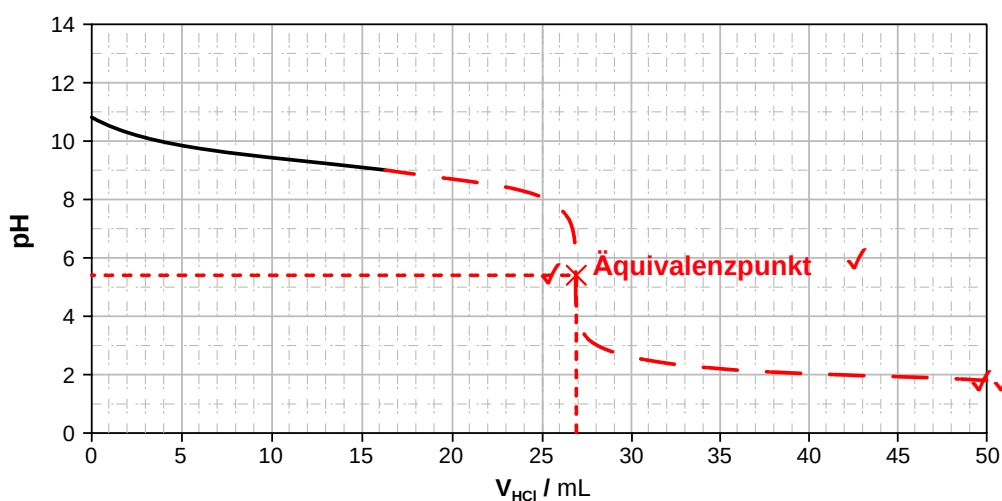
$$\text{pH}_2 \approx \frac{1}{2} \cdot \left(\text{p}K_{\text{S}}(\text{NH}_4^+) - \log_{10} \left(c_{\text{NH}_4^+,2} \cdot \frac{\text{L}}{\text{mol}} \right) \right) = \frac{1}{2} \cdot (9,24 - \log_{10}(0,021)) = 5,46 \quad \checkmark \checkmark \checkmark$$

Mit den Notfallwerten folgt $c_{\text{NH}_4^+,2} = 0,024 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ und $\text{pH}_2 = 5,43$.

3pt: 0,5pt alleiniges Vorliegen von Ammonium am ÄP (muss nicht explizit angegeben werden, wenn die folgenden Rechnungen stimmen), 1pt $c_{\text{NH}_4^+,2}$ (0,5pt Rechenweg, 0,5pt Ergebnis), 1,5pt pH_2 (0,5pt Rechenweg, 1pt Endergebnis)

h) Skizziere den weiteren Verlauf der Titrationskurve im Bereich der Zugabe von 16,3 – 50 mL Salzsäure. Markiere dabei die genaue Lage des Äquivalenzpunkts.

► **Notfallwerte:** $V_{\text{HCl},2} = 25 \text{ mL}$, $\text{pH}_2 = 5,40$



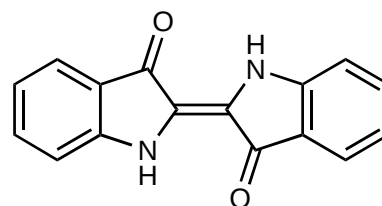
2pt: 0,5pt exakte Lage ÄP, 0,5pt (annähernd) senkrechter Verlauf durch ÄP (s. gepunktete Linie), 1pt flacher, monoton fallender Verlauf vor und hinter dem ÄP (gestrichelte Linie)

2-07

Das wird mir zu bunt!

15P

Indigo, ein blauvioletttes Färbemittel, ist eines der ältesten bekannten Pigmente und wurde schon in prähistorischer Zeit zum Färben von Stoffen verwendet. Nebenstehend ist die Skelettformel von Indigo abgebildet.



a) Gib die Summenformel von Indigo an.

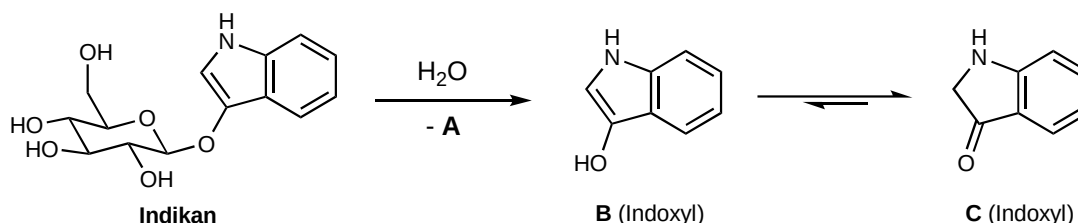


1pt

b) Markiere für jede der folgend genannten funktionellen Gruppen ein Beispiel in der Struktur von Indigo.

Carbonyl-Gruppe	Amino-Gruppe	Alkenyl-Gruppe	Phenylen-Gruppe
0,5pt	0,5pt	1pt	1pt

Traditionell wird Indigo aus in Indigopflanzen enthaltenem Indikan gewonnen. Durch Gärung entsteht aus diesem Indoxyl, eine Vorstufe von Indigo.



c) Vervollständige den Lückentext, indem du jeweils alle richtigen Begriffe ankreuzt.

Indikan wird im ersten Schritt in einem Überschuss von Wasser aufgespalten. Bei der Reaktion handelt es sich um eine (1). Das dabei entstehende Nebenprodukt **A** gehört zur Klasse der (2). Verbindungen **B** und **C** sind (3) von Indoxyl und können sich ineinander umlagern. Das Gleichgewicht liegt dabei auf der Seite von (4).

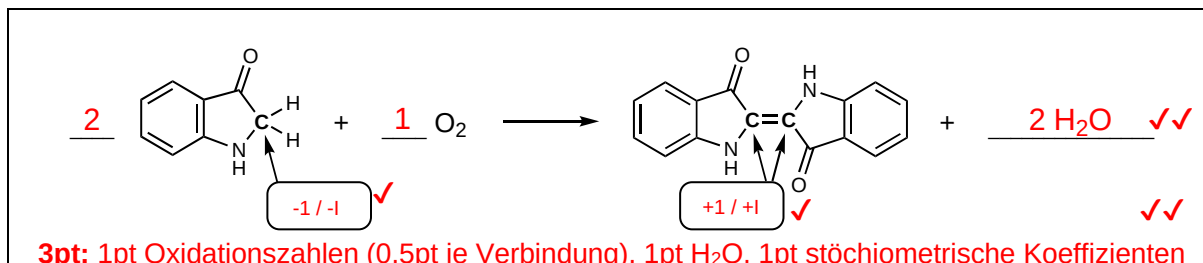
Lücke (1)	Lücke (2)	Lücke (3)	Lücke (4)
☐ Kondensation ☒ Hydrolyse $\checkmark\checkmark$ ☐ Addition ☐ Eliminierung	☐ Aminosäuren ☐ Lipide ☐ Peptide ☒ Kohlenhydrate $\checkmark\checkmark$	☐ Mesomere Grenzstrukturen ☐ Stereoisomere ☒ Strukturisomere $\checkmark$ ☒ Tautomere $\checkmark$	☐ Verbindung B ☒ Verbindung C $\checkmark\checkmark$

4pt: 1pt pro Lücke (Bei 1 richtiger Antwort: 1pt je richtiges Kreuz, -1pt je falsches Kreuz. Bei 2 richtigen Antworten: 0,5pt je richtiges Kreuz, -0,5pt je falsches Kreuz. Nicht <0pt pro Frage).

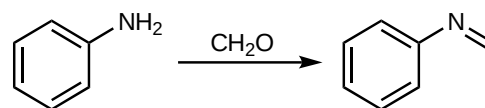
Indoxyl kann schließlich in einem Prozess, der Schlagen genannt wird, mit Luftsauerstoff zu Indigo umgesetzt werden.

d) Folgend ist die unvollständige Strukturformelgleichung der Reaktion von Indoxyl mit Sauerstoff gegeben.

- Schreibe die Oxidationszahlen der fett markierten Kohlenstoffatome in die Kästchen.
- Vervollständige die Reaktionsgleichung, indem du das fehlende Nebenprodukt sowie die stöchiometrischen Koeffizienten angibst.



Heutzutage wird der Großteil des weltweit hergestellten Indigos synthetisch erzeugt. Ein möglicher Syntheseweg beginnt dabei mit der Umsetzung von Anilin und Formaldehyd zu einem Imin.



e) Folgender Lückentext beschäftigt sich mit dem Mechanismus der betrachteten Reaktion. Vervollständige den Text, indem du ankreuzt bzw. die Lücken entsprechend den Anweisungen ergänzt.

Das Stickstoffatom im Anilin besitzt ein freies Elektronenpaar und kann somit als...

☒ Nukleophil ✓

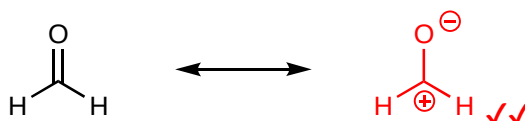
☐ Elektrophil

...reagieren. Formaldehyd besitzt eine polare C=O-Doppelbindung, in welcher der Kohlenstoff eine...

☐ negative

☒ positive ✓

...Partialladung besitzt. Diese kann durch folgende mesomere Grenzstruktur von Formaldehyd verdeutlicht werden:



Anilin und Formaldehyd können somit in einer...

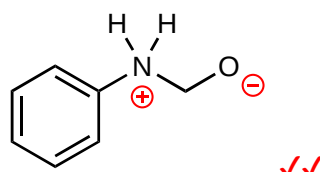
☐ nucleophilen Substitution

☐ elektrophilen Addition

☒ nucleophilen Addition ✓✓

...reagieren, bei der schließlich ein Intermediat mit folgender Struktur entsteht.

Trage die fehlenden Formalladungen in die vorgegebene Struktur ein:



0,5pt je Formalladung

4pt: jeweils 0,5pt für „Nukleophil“ und „positive“, 1pt mesomere Grenzstruktur, 1pt „nucleophile Addition“, 0,5pt je Formalladung

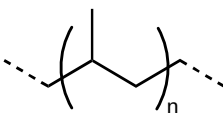
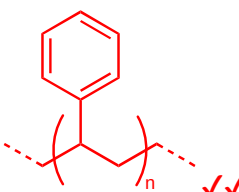
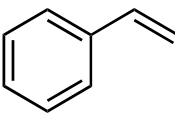
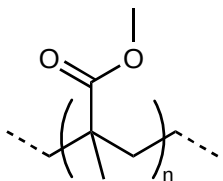
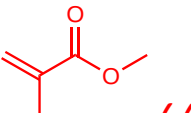
2-08

Radikaler Umweltschutz bei Polymeren

20pt

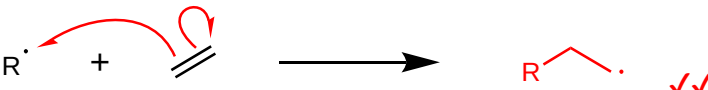
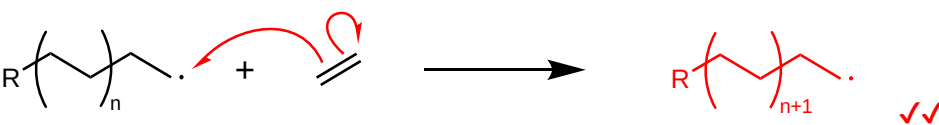
Kunststoffe spielen in unserer Lebenswelt eine wichtige Rolle, da kaum ein Produkt vollständig ohne sie auskommt. Abhängig vom Anwendungsfall kommen verschiedene Polymere als Kunststoffe zum Einsatz, wobei durch Kettenpolymerisation gewonnene Polymere besonders häufig anzutreffen sind.

- a) Ergänze jeweils die fehlende Wiederholeinheit bzw. das fehlende Monomer der folgenden Polymere, die durch Kettenpolymerisation hergestellt werden.

<u>Polypropylen</u>   1pt	<u>Polystyrol</u>   1pt	<u>PMMA</u>   1pt
---	---	---

Häufig wählt man dabei zur Verknüpfung der Monomere die radikalische Polymerisation. Bei dieser werden zunächst freie Radikale $R^\bullet$ generiert, die mit dem Monomer eine Startreaktion eingehen. In der anschließenden Kettenwachstumsreaktion werden schrittweise weitere Monomere an die Polymerkette angelagert, bis schließlich das Kettenwachstum durch eine Abbruchreaktion (z. B. Kombination) gestoppt wird.

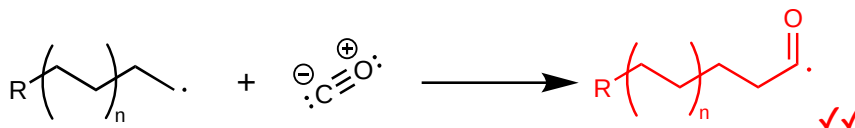
- b) Vervollständige die Startreaktion, die Kettenwachstumsreaktion und die Abbruchreaktion durch Kombination bei der radikalischen Polymerisation von Ethen. Zeichne jeweils Pfeile ein, um die Elektronenwanderung zu verdeutlichen.

<u>Startreaktion</u>  1pt: 0,5pt Produkt, 0,5pt Pfeile
<u>Kettenwachstumsreaktion</u>  1pt: 0,5pt Produkt, 0,5pt Pfeile
<u>Abbruchreaktion (Kombination)</u>  1pt (keine Punkte bei anderen Abbruchreaktionen, z. B. Disproportionierung)

Hinweis: In der gesamten Aufgabe werden **einmalig** 0,5pt abgezogen, falls fälschlicherweise Elektronenverschiebungspfeile mit Doppelkopf verwendet werden!

Ein zentrales Problem von Polymeren, die durch Kettenpolymerisation synthetisiert werden, ist ihre meist mangelhafte biologische Abbaubarkeit, aufgrund derer diese Kunststoffe stark zur Verschmutzung der Umwelt beitragen. Dieses Problem kann behoben werden, indem reaktivere funktionelle Gruppen in die Polymerkette eingebaut werden. Bei Polyethylen ist dies zum Beispiel durch Copolymerisation mit Kohlenstoffmonoxid möglich.

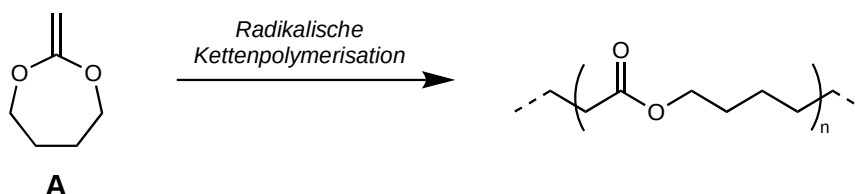
- c) Zeichne das Produkt einer alternativen Kettenwachstumsreaktion bei der radikalischen Polymerisation von Ethen, bei der statt Ethen Kohlenmonoxid angelagert wird.
Gib den Namen der funktionellen Gruppe an, die auf diese Weise in die Polymerkette eingebaut werden kann.



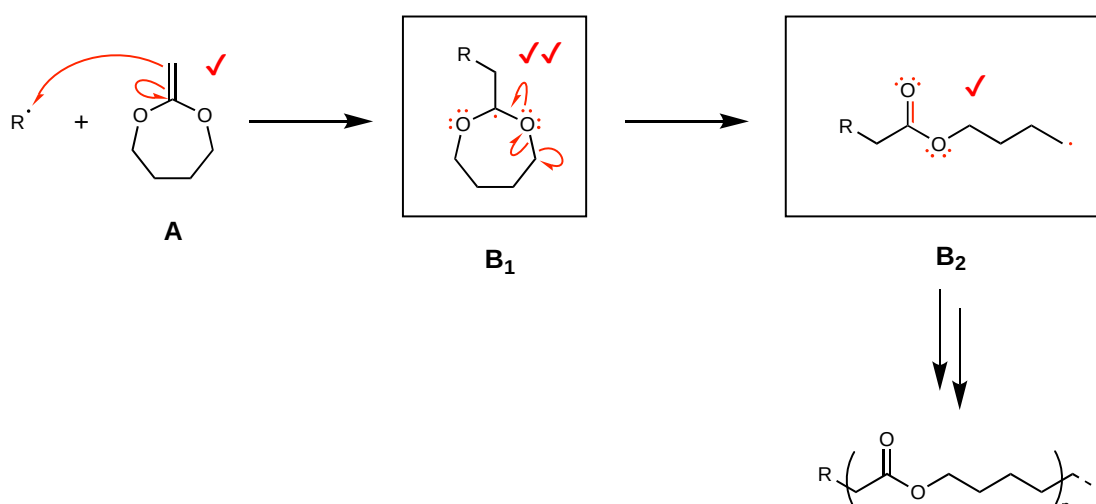
Name der funktionellen Gruppe: **Ketogruppe / Carbonylgruppe** ✓✓

2pt: 1pt Struktur, 1pt funktionelle Gruppe

Ein weiterer vielversprechender Ansatz ist der Einbau von leicht hydrolysierbaren Estergruppen in die Polymerkette. Dies ist bei geeigneter Wahl der Reaktionsbedingungen auch bei radikalischer Kettenpolymerisation möglich, indem man zyklische Ketenacetale wie die Verbindung **A** als Monomer verwendet.

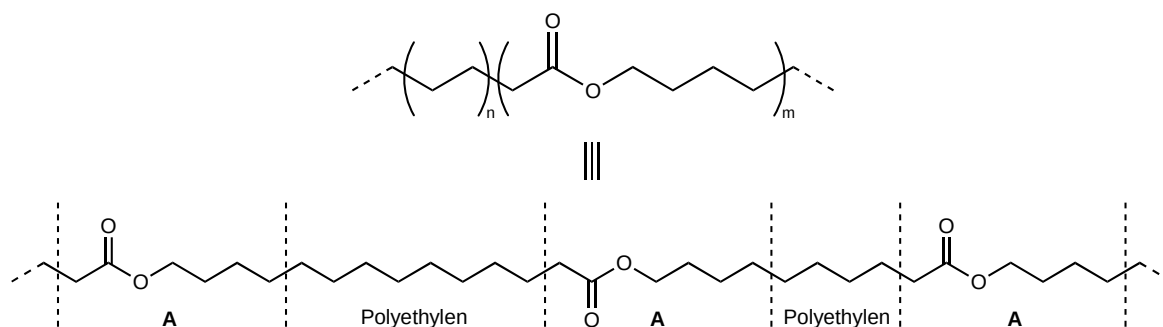


- d) Vervollständige den Mechanismus der Startreaktion der Polymerisation von **A**:
- Zeichne in die vorgegebenen Strukturen von **B₁** und **B₂** die fehlenden freien Elektronen(-paare) ein.
 - Zeichne für die ersten beiden Reaktionsschritte Pfeile ein, um die Elektronenwanderung zu verdeutlichen.



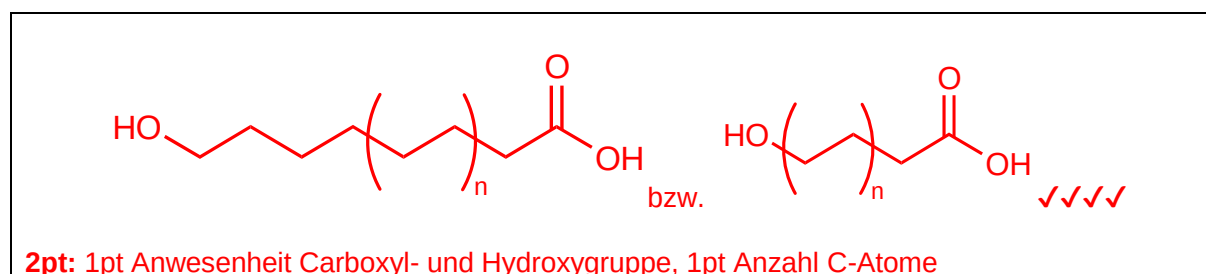
2pt: jeweils 0,5pt für die freien Elektronen in **B₁** und **B₂** sowie für die Elektronenverschiebungspfeile in Schritt 1 und 2. Keine Teilpunkte jeweils. Elektronenpaare können auch als Strich dargestellt werden. CAVE! Aufgabenstellung unglücklich: Bei **B₂** ist das E-Paar in der Doppelbindung kein freies E-Paar, Punkte trotzdem geben egal ob eingezeichnet oder nicht.

Nun kann man die Vorteile der verschiedenen Polymere kombinieren, indem man Copolymere herstellt. Die Abbildung (auf der nächsten Seite) zeigt beispielhaft ein Copolymer aus Ethen und **A**. In dem Ethylen-**A**-Copolymer wechseln sich die beiden Monomere in der Polymerkette zufällig ab, sodass die Polyethylenkette immer wieder durch Estergruppen unterbrochen wird.



Die Estergruppen können durch Hydrolyse recht einfach gespalten und das Polymer so zu vielen kleineren Oligomeren abgebaut werden, die jeweils nur noch wenige Ethen-Einheiten umfassen.

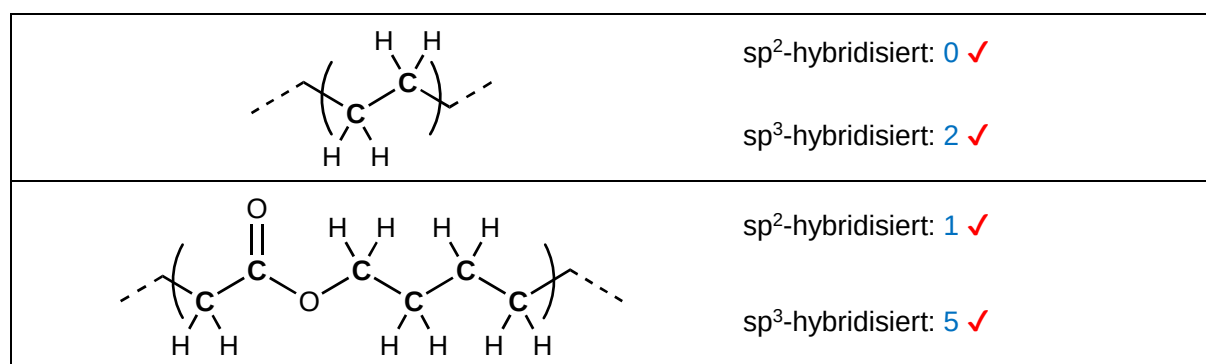
- e) Zeichne die allgemeine Strukturformel des Abbauprodukts, das bei der vollständigen Hydrolyse des betrachteten Copolymers entsteht. Verwende dabei n für die Anzahl der Ethen-Einheiten.



Copolymere können mit ^{13}C -NMR-Spektroskopie analysiert werden. Durch solch eine Untersuchung wurde für ein beispielhaftes Ethylen-A-Copolymer das Verhältnis der Anzahlen sp^3 - und sp^2 -hybridisierter Kohlenstoffatome ermittelt.

Hybridisierung	Relative Häufigkeit
sp^2	0,18 %
sp^3	99,82 %

- f) Gib für die beiden Wiederholeinheiten des Ethylen-A-Copolymers jeweils die Anzahl der sp^3 - und sp^2 -hybridisierten Kohlenstoffatome an.



2pt: 0,5pt je korrekter Anzahl

- g) Berechne für das betrachtete Ethylen-A-Copolymer das Verhältnis von n und m , das heißt das Verhältnis der Ethylen- und A-Wiederholeinheiten.

$$\frac{N(\text{sp}^2)}{N(\text{sp}^3)} = \frac{1 \cdot m}{2 \cdot n + 5 \cdot m} = \frac{0,18}{99,82}$$

$$m \cdot (99,82 - 5 \cdot 0,18) = n \cdot (2 \cdot 0,18) \Rightarrow \frac{n}{m} = \frac{99,82 - 5 \cdot 0,18}{2 \cdot 0,18} = 274,8 \quad \checkmark\checkmark\checkmark\checkmark$$

2pt: 1pt Rechenweg, 1pt Endergebnis

h) Berechne die durchschnittliche molare Masse der Abbauprodukte der vollständigen Hydrolyse des betrachteten Ethylen-**A**-Copolymers.

► Notfallwert: $n:m = 275$

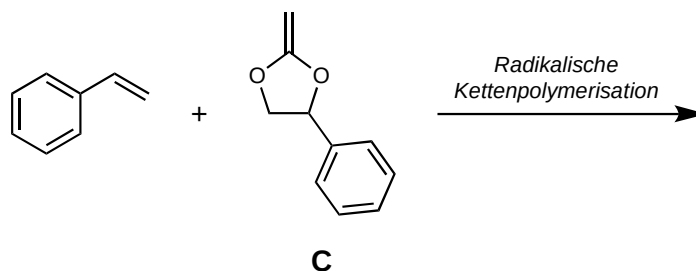
Das durchschnittliche Abbauprodukt setzt sich aus $m = 1$ **A**-Monomer, $n = 274,8 \cdot 1$ Ethylen-Monomeren sowie einem Wassermolekül (wegen der Hydrolyse) zusammen. Damit gilt für seine molare Masse:

$$\bar{M} = 274,8 \cdot 28,06 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 114,14 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 18,02 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 7843,05 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad \checkmark\checkmark\checkmark\checkmark$$

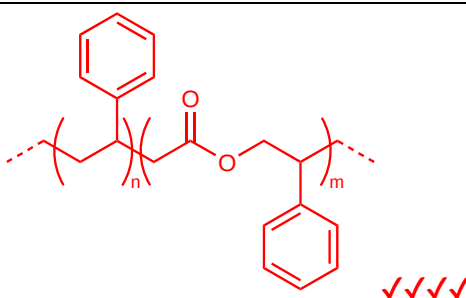
Mit dem Notfallwert ist $\bar{M} = 7848,66 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.

2pt: 1pt Rechenweg, 1pt Endergebnis, -1pt wenn H_2O vergessen, aber sonst richtig

Es ist ebenfalls möglich, ein mit Estergruppen modifiziertes Polystyrol herzustellen, indem Phenylethen und Verbindung **C** als Monomere radikalisch copolymerisiert werden.



i) Zeichne die Strukturformel des Copolymers aus Phenylethen und **C**. Verwende dieselbe Darstellungsweise wie bei dem Copolymer von der vorherigen Seite.



2pt: 0,5pt Polystyrol-Wiederholeinheit, 1,5pt Polyester-Wiederholeinheit, keine Teilpunkte jeweils